Hierarchical Analysis for Choosing a Waterproofing Alternative in Concrete Elements

Dr. Samah Makkieh*

(Received 25 / 9 / 2022. Accepted 17 / 11 / 2022)

□ ABSTRACT □

The life span of concrete decreases when water penetrates through the pores and cracks of the concrete, carrying with it chemicals that destroy its structure and cause rusting of the reinforcing steel, so it was necessary to work to increase the impermeability of the concrete used. There were many possible methods and research developed to secure concrete waterproofing, and the effect of each one on the properties of the concrete, the life of the insulation, the cost of implementation, and so on, was different, which made it necessary to work on choosing the best method for securing impermeability.

In this research, a methodology has been proposed that can be applied based on research laboratory experiments to be employed later to serve the practical reality. This methodology differentiates between waterproofing solutions (increasing the impermeability by increasing the caliber of concrete, insulation by adding special polymers to the mixture, insulation with asphalt rollers, rubber insulation for roofs) using AHP hierarchical analysis to find the alternative The best for the studied concrete structure according to several criteria (resistance to pressure, resistance to acidic media, permeability, insulation life, cost) with the ability of this methodology to add new alternatives in line with continuous laboratory results and has the ability to add other criteria.

Simple pressure, permeability and resistance tests were performed on acidic media for three types of concrete samples: a 350 kg/m^3 concrete samples considered as the reference sample, a 350 kg/m^3 concrete samples with 5% SBR by weight of cement and a 450 kg/m^3 concrete samples without addition. The results of the tests were used to determine the matrices of the relative importance of the alternatives for each criterion for the hierarchical analysis to choose the best alternative.

his methodology was applied to the two cases of study, the first is a concrete water tank and the second is the last roof of a residential building; The Expert Choice program was used to select the best alternative in each case, so insulation by adding SBR to the mixture was the best alternative in the first case, and rubber insulation was the best alternative in the second case.

Keywords: waterproofing, Analytic Hierarchy Process AHP, Expert Choice

*Assistant Professor, Construction Engineering And Management Department, Faculty of civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, S.makkieh@tishreen.edu.sy.

التحليل الهرمي لاختيار بديل العزل المائي في العناصر البيتونية

د. سماح مكيه*

(تاريخ الإيداع 25 / 9 / 2022. قُبِل للنشر في 17/ 11 / 2022)

□ ملخّص □

يقل العمر الافتراضي للبيتون عندما يتغلغل الماء من خلال مسام البيتون وشقوقه حاملاً معه مواد كيميائية تؤدي إلى تخريب بنيته وتسبب صدأ لفولاذ التسليح فكان لا بد من العمل على زيادة كتامة البيتون المستخدم. تعددت الطرق الممكنة والأبحاث المطورة لتأمين العزل المائي البيتون واختلف تأثير كلٍّ منها على خصائص للبيتون وعمر العزل وكلفة التنفيذ وغير ذلك مما جعل من الضروري العمل على اختيار الطريقة الأفضل لتأمين الكتامة.

تم في هذا البحث اقتراح منهجية يمكن تطبيقها اعتماداً على التجارب المخبرية البحثية لتوظف فيما بعد لخدمة الواقع العملي، تفاضل هذه المنهجية بين حلول العزل المائي (زيادة الكتامة بزيادة عيار البيتون، العزل بإضافة بوليميرات خاصة للخلطة، العزل بالرولات الزفتية، العزل المطاطي للأسطح) باستخدام التحليل الهرمي AHP لإيجاد البديل الأفضل للمنشأة البيتونية المدروسة تبعا لعدة معايير (المقاومة على الضغط، مقاومة الأوساط الحامضية، النفاذية، عمر العزل، الكلفة) مع قدرة هذه المنهجية على إضافة بدائل جديدة تتماشى مع النتائج المخبرية المستمرة وتملك القدرة على إضافة معايير أخرى.

تم إجراء اختبارات الضغط البسيط والنفاذية والمقاومة للأوساط الحامضية لثلاثة أنواع من العينات البيتونية: عينات بيتونية ذات عيار 350 kg/m^3 اعتبرت كعينات مرجعية وعينات بيتونية ذات عيار 350 kg/m^3 مع إضافة SBR بنسبة 5% من وزن الاسمنت وعينات بيتونية ذات عيار 450 kg/m^3 بدون إضافة وقد تم الاستفادة من نتائج الاختبارات في تحديد مصفوفات الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لكل معيار من أجل التحليل الهرمي لاختيار البديل الأفضل.

تم تطبيق هذه المنهجية على حالتي دراسة الأولى خزان ماء بيتوني والثانية السطح الأخير لمبنى سكني؛ وتم استخدام برنامج الـ Expert Choice لاختيار البديل الأفضل في كل حالة فكان العزل بإضافة SBR للخلطة هو البديل الأفضل في الحالة الأولى، وكان العزل المطاطي هو البديل الأفضل في الحالة الثانية.

الكلمات المفتاحية: العزل المائي، التحليل الهرمي AHP، Expert Choice.

* مدرسة – قسم هندسة وادارة التشييد _كلية الهندسة المدنية _جامعة تشرين _اللاذقية _ سورية S.makkieh@tishreen.edu.sy.

مقدمة:

يعتبر البيتون من أكثر المواد الإنشائية استخداما في العالم، وتزداد يوماً بعد يوم الأبحاث التي تهدف إلى تحسين خواصه وزيادة عمره الافتراضي. يقل العمر الافتراضي للبيتون عادة عندما يتغلغل الماء من خلال مسام البيتون وشقوقه حاملاً معه مواد كيميائية تؤدي إلى تخريب بنية البيتون وتسبب صدأ لفولاذ التسليح كما في المناطق الساحلية المعرضة لنسب عالية من الرطوبة وما يرافقها من ارتفاع في نسبة الملوحة، مما يتحتم العمل على زيادة كتامة البيتون المستخدم.

تعددت الطرق الممكنة لتأمين العزل المائي البيتون لعل أبرزها استخدام البيتومين والرولات الزفتية وهناك عدة أبحاث طورت هذه الطريقة كإضافة مواد تحسن في مواصفات البيتومين مثل الاستيرين الاكريليك والاسترين بوتادين المطاطي [1] كذلك استخدام الإضافات البولميرية للمونة الاسمنتية مثل (Styrene Butadiene Rubber SBR) وهناك عدة أبحاث طورت هذه الطريقة أيضاً لتحقيق عزل مائي أفضل [2] و [3] بالإضافة إلى استخدام الإضافات الكريستالية [4] وغيرها من الطرق.

ونظرا لتعدد الطرق الممكنة لتأمين العزل المائي للبيتون والأبحاث المطورة في هذا المجال وما ينتج عن استخدام إحداها من تأثير على الخصائص المختلفة للبيتون أهمها (المقاومة على الضغط، الكتامة، مقاومة الأوساط الحامضية) وكذلك الاختلاف في عمر العزل وكلفة التنفيذ يجعل من الضروري العمل على اختيار الطريقة الأنسب لتأمين الكتامة وتعد طريقة التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process AHP) من الطرق الفعالة لتحليل القرارات واسعة النطاق ومتعددة المعايير [5].

مشكلة البحث:

تسبب الرطوبة مشاكل عديدة في البيتون تبعا للنفاذية المائية الحاصلة الأمر الذي يسبب نقصان عمر البناء الافتراضي كما تتشعب وتزداد الطرق المتوفرة عالميا ومحليا للعزل المائي للبيتون وتتباين النتائج المتعلقة بهذه الطرق بشكل كبير مما يدعو إلى العمل على استخدام طرق علمية في محاولة اختيار أفضل البدائل مع مراعاة وجود العديد من المعايير.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في استخدام أداة برمجية علمية يمكنها اختيار البديل الأفضل بين العدد المتنامي من البدائل المتوفرة للعزل المائي للبيتون من جهة كما تراعي خصوصية المبنى من حيث كونه على تماس كبير للماء كالخزانات والمسابح أو كونه سطحا في الطابق الأخير او على تماس مع الأوساط الحامضية أو عنصرا رئيسيا حاملا لبناء عالي.. الخ من جهة أخرى، فهو يعد خطوة في تأطير التجارب المخبرية البحثية المحلية وتوظيفها لخدمة الواقع العملي.

يهدف البحث إلى اقتراح منهجية تفاضل بين حلول العزل المائي (زيادة الكتامة بزيادة عيار البيتون، العزل بإضافة SBR للخلطة، العزل بالرولات الزفتية، العزل المطاطي للأسطح) باستخدام التحليل الهرمي لإيجاد البديل الأفضل للمنشأة البيتونية قيد الدراسة تبعا لعدة معايير (المقاومة على الضغط، مقاومة الأوساط الحامضية، النفاذية، عمر العزل، الكلفة) مع قدرة هذه المنهجية على إضافة بدائل جديدة تتماشى مع النتائج المخبرية المستمرة وتملك القدرة على إضافة معايير فرعية أخرى.

تساؤلات البحث:

- كيف يمكن التفاضل بين حلول العزل المائي لإيجاد البديل الأفضل للمنشأة البيتونية قيد الدراسة؟
- كيف يمكن تأطير التجارب المخبرية البحثية المحلية وتوظيفها لخدمة الواقع العملي؟

حدود البحث:

يقتصر البحث على البدائل التالية: العزل بزيادة عيار البيتون، العزل بإضافة SBR للخلطة، العزل بالرولات الزفتية، العزل المطاطي للأسطح.

مع إمكانية استخدام المنهجية المقترحة لإضافة بدائل أخرى

طرائق البحث ومواده:

يستخدم البحث المنهجية **التجريبية** وذلك:

1- إجراء اختبارات الضغط البسيط والنفاذية والمقاومة للأوساط الحامضية لعينة بيتونية ذات عيار $450\ kg/m^3$.

2- إجراء اختبارات الضغط البسيط والنفاذية والمقاومة للأوساط الحامضية لعينة بيتونية ذات عيار $350\ kg/m^3$ مع إضافة SBR بنسبة 5% من وزن الاسمنت.

3- إجراء اختبارات الضغط البسيط والنفاذية والمقاومة للأوساط الحامضية لعينة بيتونية ذات عيار $350\ kg/m^3$ بدون إضافة لعزل سطحها بالرولات الزفتية أو بالعزل المطاطي.

كما يستخدم البحث المنهجية **التحليلية** وذلك باستخدام طريقة التحليل الهرمي AHP ومن ثم استخدام برنامج Expert Choice لاختيار البديل الأفضل.

يمكن تلخيص المنهجية المتبعة بالمراحل التالية:

1- صب العينات وإجراء الاختبارات اللازمة وجمع المدخلات المطلوبة للبدائل المقترحة في التحليل الهرمي لاختيار البديل الأفضل.

2- اقتراح منهجية لاختيار البديل الأفضل باستخدام التحليل الهرمي يمكن تطبيقها اعتماداً على التجارب المخبرية البحثية المحلية لتوظف فيما بعد لخدمة الواقع العملي.

3- تطبيق المنهجية السابقة على حالتين دراسيتين واستخدام برنامج الـ Expert Choice لاختيار البديل الأفضل في كل حالة.

4- عرض النتائج وإعطاء التوصيات اللازمة.

أما المواد والبرامج المستخدمة:

1. حصويات طبيعية (بحص طبيعي، رمل خشن، رمل ناعم)
2. اسمنت من معمل طرطوس
3. إضافة SBR بنسبة 5% من وزن الاسمنت
4. برنامج Expert Choice الذي يعتمد على التحليل الهرمي AHP لاختيار البديل الأفضل.

أولاً: القسم التجريبي:

تم اعتماد الطريقة الفرنسيّة (Dreux-Gorisse) في تصميم الهيكل الحصوي لخلطات البيتون حيث استخدم نوعين من الرمل من مصادر محلية: رمل خشن قطره الأعظمي 5mm يبلغ معامل نعومته 3,8، ومكافئه الرملي 92 %، أما الوزن الحجمي الصلب $\rho_s=2.49\ g/cm^3$ ورمل ناعم قطره الأعظمي 1mm يبلغ معامل نعومته1.32، ومكافئه الرملي 78.1% والوزن الحجمي الصلب $\rho_s=2.70\ g/cm^3$ وكانت نسبة المزج المثلى محققة لعامل نعومة بحدود 2.7 وهي: 57% رمل خشن، رمل ناعم 43%. واستخدم بحص طبيعي خشن ومتوسط عامل اهتراء النوعين وفق لوس أنجلوس 19.18%.

بلغت نسبة البحص الخشن 33% ونسبة البحص المتوسط 27% ونسبة الرمل الناعم 17% ونسبة الرمل الخشن23% كما بلغ عيار الأسمنت في الخلطة الأولى kg/m^3 450 أما عياره في الخلطة الثانية فكان kg/m^3 350. ويبين الجدول (1) الأوزان اللازمة لصب $1m^3$ من البيتون للخلطتين.

الجدول (1): أوزان المكونات اللازمة لصب $1m^3$ من البيتون

الخلطة	بحص خشن (kg/m^3)	بحص متوسط (kg/m^3)	رمل ناعم (kg/m^3)	رمل خشن (kg/m^3)	إسمنت(C) (kg/m^3)	ماء (W) (kg/m^3)	W/C
1	660	520	328	413	450	239	0.53
2	660	520	328	413	350	186	0.53

تم اختبار الخلطة الثانية مرة بدون إضافات ومرة بإضافة SBR للعينات من الخلطة الثانية بنسبة 5% من وزن الاسمنت.

نتائج القسم التجريبي:

تم اختبار المقاومة على الضغط البسيط بعمر 28day على عيّنات مكعبية ارتفاع 10 cm حيث تم إجراء 3 اختبارات لكل تركيب في ظروف المخبر المثالية وكانت النتائج كالتالي:

- حققت الخلطة الأولى مقاومة مكعبية على الضغط البسيط بعمر 28 day مقدارها kg/cm^2 395.
- حققت الخلطة الثانية بوجود SBR بنسبة 5% من وزن الاسمنت ذو العيار kg/m^3 350 مقاومة مكعبية على الضغط البسيط بعمر 28 day مقدارها kg/cm^2 250.
- حققت الخلطة الثانية بدون إضافات مع اسمنت ذو العيار kg/m^3 350 مقاومة مكعبية على الضغط البسيط بعمر 28 day مقدارها kg/cm^2 280.

أما اختبار مقاومة الخلطتين للأوساط الحامضية على عينات مكعبية بارتفاع 10 cm عن طريق غمرها بحمض الكبريت ذو التركيز 2% ولمدة 15 يوم فكانت النتائج كالتالي:

- بلغ فقدان الكتلة للخلطة الأولى مقدار 4%.
- بلغ فقدان الكتلة للخلطة الثانية مع إضافة SBR مقدار 2%.
- بلغ فقدان الكتلة للخلطة الثانية بدون إضافات مقدار5.5%.

كما تم اختبار النفاذية للهواء بعمر 56 day على عينات اسطوانية (أقراص) cm (d:15 * h:5) وتم الحصول على النتائج التالية:

- بلغت قيمة معامل النفاذية في الخلطة الأولى m^2 $\times 10^{-18}$ 392.
- بلغت قيمة معامل النفاذية في الخلطة الثانية مع إضافة SBR m^2 $\times 10^{-18}$ 270.
- بلغت قيمة معامل النفاذية في الخلطة الثانية بدون إضافات m^2 $\times 10^{-18}$ 532.

مناقشة نتائج القسم التجريبي:

نلاحظ من خلال نتائج التجارب وباعتبار العينة البيتونية ذات العيار kg/m^3 350 بدون إضافة هي العينة المرجعية ما يلي:

- زيادة عيار الاسمنت أدت إلى زيادة المقاومة بمقدار Kg/cm^2 115 أي بنسبة 41.1%.
- أدت إضافة SBR بنسبة 5% من وزن الاسمنت إلى انخفاض المقاومة بمقدار Kg/cm^2 30 أي بنسبة 10.7%.
- أدت إضافة SBR إلى انخفاض فقدان الكتلة بمقدار 3.5% نتيجة وضع العينة في وسط حامضي في حين أدت زيادة عيار الاسمنت إلى انخفاض فقدان الكتلة بمقدار 1.5% مقارنة بالعينة المعيارية.
- نتيجة زيادة عيار الاسمنت انخفض معامل النفاذية بمقدار m^2 $\times 10^{-18}$ 140 أي بنسبة 26.3%.

- انخفض معامل النفاذية بمقدار 262×10^{-18} m^2 أي بمقدار 49.2% وذلك نتيجة إضافة SBR إلى الخلطة.

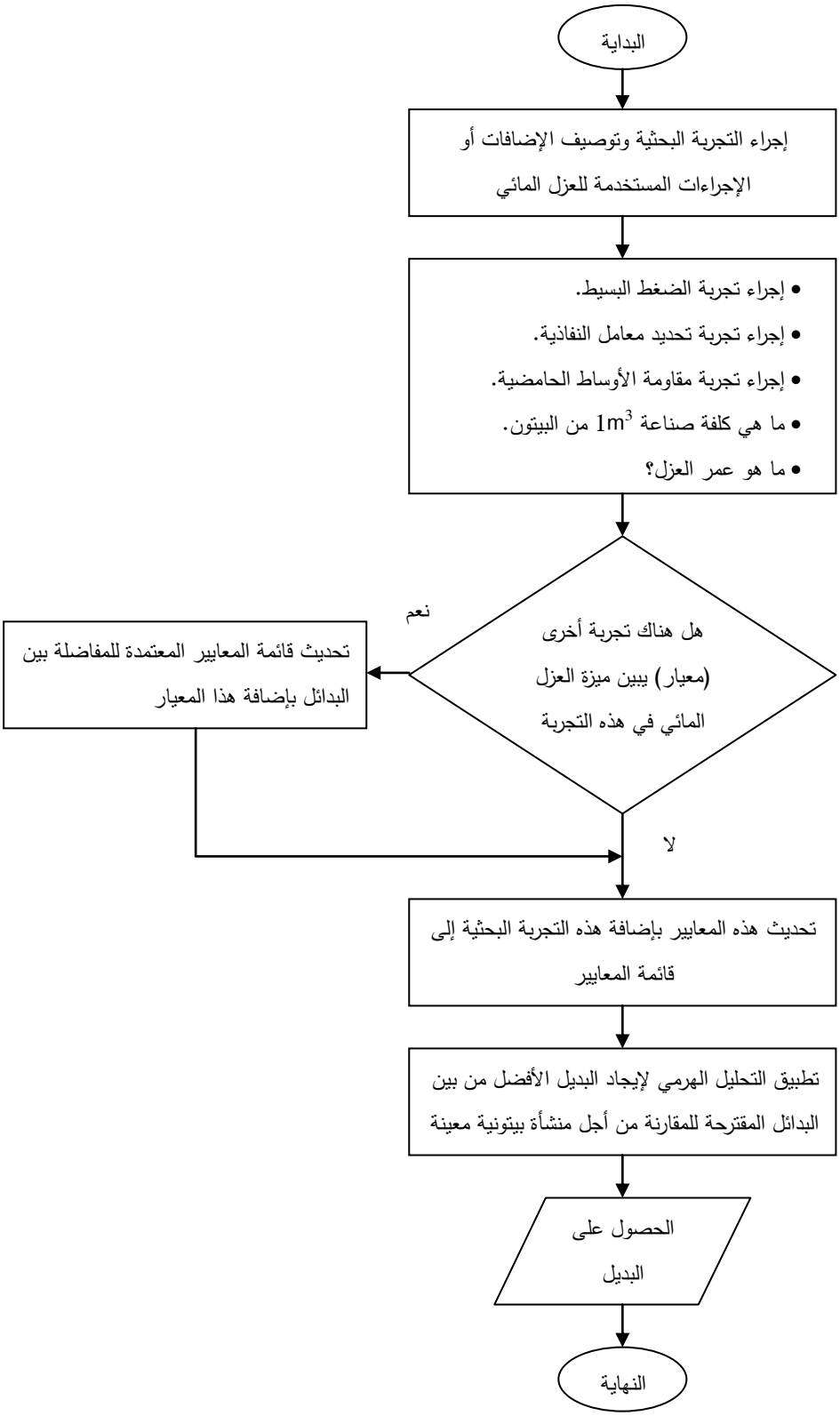
ثانياً: القسم التحليلي:

يبين الشكل (1) المخطط التدفقي للمنهجية المقترحة لتأطير نتائج التجارب المخبرية المتعلقة بالعزل المائي للبيتون.

طريقة التحليل الهرمي:

طريقة التحليل الهرمي (AHP) هي إحدى طرق اتخاذ القرار متعدد المعايير (MCDM) التي تساعد صانع القرار على إيجاد حل لمشكلة معقدة ومتعددة المعايير وهي كغيرها من طرق اتخاذ القرار تعتمد على أربع خطوات [6]:

1. البناء الهرمي من خلال تحديد المشكلة المطلوب معالجتها، والمعايير المؤثرة عليها، والبدائل المتاحة لحل هذه المشكلة.
2. المقارنة الثنائية للمعايير الفرعية بالنسبة لبعضها، ثم المقارنة الثنائية للمعايير الرئيسية بالنسبة لبعضها، وبعد ذلك وزن العوامل الرئيسية بالنسبة للهدف.
3. التحقق من نسبة التوافق المطلوبة لنجاح المقارنة الثنائية والتي تضمن عدم وجود تناقض في الآراء، وهذه النسبة يجب ألا تتجاوز 10%.
4. استخدام أوزان المعايير لترتيب الأولويات فيما بينها بعد التأكد من سلامة التوافق.



الشكل (1) المنهجية المقترحة لتأطير نتائج التجارب المخبرية المتعلقة بالعزل المائي للبيتون

يبين الجدول (2) جدول مقياس الأهمية النسبية وفقاً لتصنيف توماس ساعاتي:

الجدول (2): مقياس الأهمية النسبية [7]

الوزن الرقمي	الشرح
1	**تساوي الأهمية**
3	**أحد المعيارين أهم من الآخر بدرجة متوسطة**
5	**أحد المعيارين أهم من الآخر بدرجة عالية**
7	**أحد المعيارين أهم من الآخر بدرجة عالية جداً**
9	**أحد المعيارين أهم من الآخر بدرجة قصوى**
2,4,6,8	**قيم وسطية تستخدم بين القيم السابقة عند المقارنة الرقمية**

مميزات طريقة التحليل الهرمي [8]:

1. الجمع بين الطريقة الكلية والجزئية: تتمثل الطريقة الكلية في بناء الهرم الذي ينظر إلى كل العناصر بشكل متكامل، أما الطريقة الجزئية فتنظر إلى الأجزاء من خلال المقارنة الثنائية بينها.
2. تعتمد هذه الطريقة على الجوانب الكمية والكيفية.
3. تجمع بين الموضوعية والذاتية وذلك من خلال أخذ رأي مجموعة من الخبراء والمختصين.
4. القدرة على تحكيم الصفات الملموسة والمجردة من خلال المقارنات الثنائية.

وفي حالة تعدد متخذي القرار فيتم الاعتماد على المتوسط الهندسي للأولويات للحصول على الأوزان النهائية.

ويمكن تطبيق التحليل الهرمي بأسلوبين مختلفين [9]:

1. أسلوب المقارنة النسبية: حيث يتم مقارنة البدائل بالنسبة لصفة مشتركة.
2. أسلوب المقارنة المطلقة: حيث يتم مقارنة البدائل بالنسبة لمقياس معروف مسبقاً (يعتمد في تحديده على التجربة والخبرة السابقة).

برنامج Expert Choice:

هو برنامج يساعد على التحليل واتخاذ القرارات بناء على معايير متعددة بالاعتماد على طريقة التحليل الهرمي حيث يسمح بالمقارنة بين أزواج المعايير والتي تعد من أبسط طرق المقارنة ويساعد على هيكلة المشكلة بحيث تظهر عوامل المشكلة بوضوح ومن ثم يساعد على ترتيب البدائل (الحلول) المتاحة من الأفضل إلى الأسوأ. كما يمكننا البرنامج من المقارنة المعتمدة على بدائل كمية أو نوعية أو دمج الاثنين معاً [10].

البدائل والمعايير المستخدمة:

البدائل: تم اعتماد البدائل التالية كونها الأكثر استخداماً محلياً وكنموذج للتجارب البحثية اللاحقة التي ممكن ان تعتمد إضافات أو إجراءات أخرى لتعزيز العزل المائي وهي كالتالي:

1- بيتون مع اسمنت عيار $450\ Kg/m^3$.

2- بيتون مع اسمنت عيار $350\ Kg/m^3$ وإضافة SBR للخلطة.

3- رولات زفتية لسطح بيتون ذو عيار $350\ Kg/m^3$.

4- عزل مطاطي لسطح بيتون ذو عيار $350\ Kg/m^3$.

المعايير: تم اعتماد مجموعة من المعايير بالعودة إلى الدراسات المرجعية المتعلقة بالعزل المائي مع إمكانية تحديث هذه المعايير تبعاً للمنهجية المقترحة في الشكل (1) والمعايير المستخدمة هي:

1- المقاومة على الضغط البسيط.

2- نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية.

3- النفاذية.

4- عمر العزل.

5- الكلفة.

يبين الجدول (3) البدائل المقترحة وقيم المعايير الموافقة لكل بديل تبعاً لنتائج التجارب المخبرية وبأسعار عام 2022:

الجدول (3): البدائل المقترحة وقيم المعايير الموافقة لكل بديل

البديل / المعيار	المقاومة على الضغط البسيط (kg/cm^2)	نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية %	النفاذية ($\times 10^{-18} m^2$)	عمر العزل (years)	الكلفة (ل.س / m^3)
بيتون مع اسمنت ذو عيار $450\ kg/m^3$	395	4	392	40 إلى 60	309000
بيتون مع اسمنت ذو عيار $350\ kg/m^3$ وإضافة SBR	250	2	270	50 الى 70	476000
رولات زفتية لسطح بيتون ذو عيار $350\ kg/m^3$	280	-	-	5 إلى 10	300000
العزل المطاطي لسطح بيتون ذو عيار $350\ kg/m^3$	280	-	-	5 إلى 10	295000

اعتماداً على الجدول (3) والعودة إلى آراء المختصين تم إيجاد الجداول التي توضح الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لكل معيار تمهيداً لتطبيق التحليل الهرمي AHP كما يلي:

1- يبين الجدول (4) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار المقاومة على الضغط البسيط:

الجدول (4) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار المقاومة على الضغط البسيط

المقاومة على الضغط البسيط	بيتون عيار 450	بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350
بيتون عيار 450	1	7	5	5
بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	1/7	1	1/3	1/3
رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	1/5	3	1	1
عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350	1/5	3	1	1

2- يبين الجدول (5) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية:

الجدول (5) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية

نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية	بيتون عيار 450	بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350
بيتون عيار 450	1	1/5	1/9	1/9
بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	5	1	1/5	1/5
رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	9	5	1	1
عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350	9	5	1	1

3- يبين الجدول (6) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار النفاذية:

الجدول (6) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار النفاذية

النفاذية	بيتون عيار 450	بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350
بيتون عيار 450	1	1/5	1/9	1/9
بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	5	1	1/7	1/7
رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	9	7	1	1
عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350	9	7	1	1

4- يبين الجدول (7) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار عمر العزل:

الجدول (7) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار عمر العزل

عمر العزل	بيتون عيار 450	بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350
بيتون عيار 450	1	1/2	7	7
بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	2	1	9	9
رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	1/7	1/9	1	1
عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350	1/7	1/9	1	1

5- يبين الجدول (8) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار الكلفة:

الجدول (8) الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار الكلفة

الكلفة	بيتون عيار 450	بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350
بيتون عيار 450	1	7	1/2	1/3
بيتون عيار 350 مع إضافة SBR للخلطة	1/7	1	1/8	1/9
رولات زفتية لسطح بيتون عيار 350	2	8	1	1/2
عزل مطاطي لسطح بيتون عيار 350	3	9	2	1

ثالثاً: القسم التطبيقي:

حالة دراسية أولى: خزان ماء

تتناول الحالة الدراسية خزان ماء بيتوني قيد التصميم والمطلوب إيجاد البديل الأفضل الذي يحقق العزل المائي اللازم.

يبين الجدول (9) مصفوفة الأهمية النسبية للمعايير تبعاً للحالة المدروسة؛ حيث أعطي للنفاذية وعمر العزل الأهمية العظمى:

الجدول (9) مصفوفة الأهمية النسبية للمعايير في حالة خزان ماء قيد التصميم

أفضل بديل للعزل	المقاومة على الضغط البسيط	نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية	النفاذية	عمر العزل	الكلفة
المقاومة على الضغط البسيط	1	7	1/7	1/5	7
نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية	1/7	1	1/9	1/9	1/7
النفاذية	7	9	1	1/5	3
عمر العزل	5	9	5	1	7
الكلفة	1/7	7	1/3	1/7	1

حالة دراسية ثانية: سطح بناء سكني

تتناول هذه الحالة بناء سكني مؤلف من خمسة طوابق والمطلوب تحقيق العزل المائي للسطح الأخير.

فيما يلي الجدول (10) المعتمد للأهمية النسبية للمعايير بالنسبة للحالة المدروسة؛ حيث أعطي للنفاذية والكلفة الأهمية العظمى:

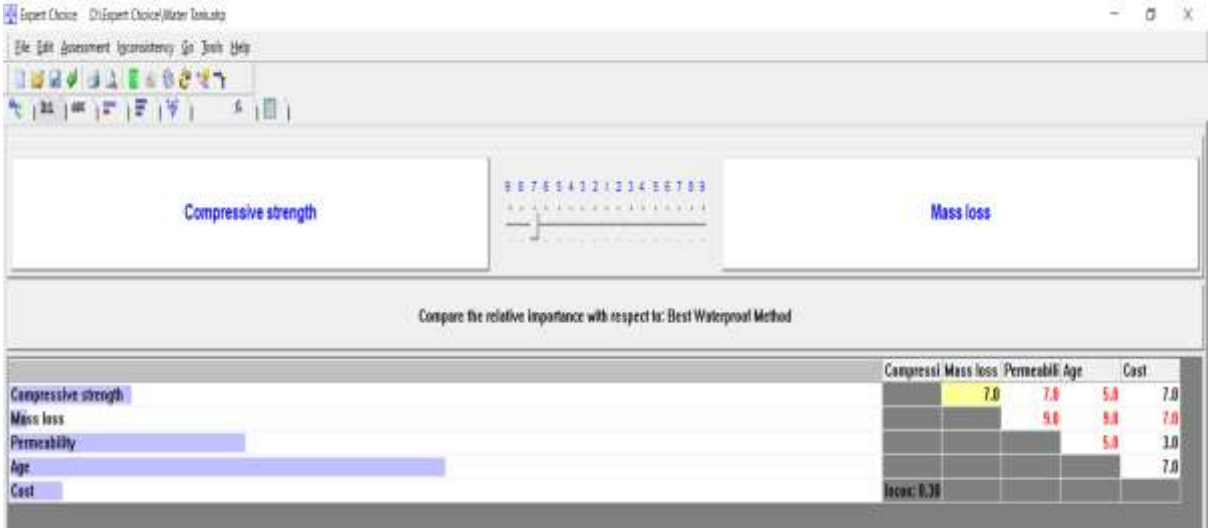
الجدول (10) مصفوفة الأهمية النسبية للمعايير في حالة سطح أخير لبناء سكني

أفضل بديل للعزل	المقاومة على الضغط البسيط	نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية	النفاذية	عمر العزل	الكلفة
المقاومة على الضغط البسيط	1	7	2	3	3
نقصان الكتلة في الأوساط الحامضية	1/7	1	1/9	1/9	1/7
النفاذية	1/2	9	1	5	6
عمر العزل	1/3	9	1/5	1	3
الكلفة	1/3	7	1/6	1/3	1

النتائج والمناقشة:

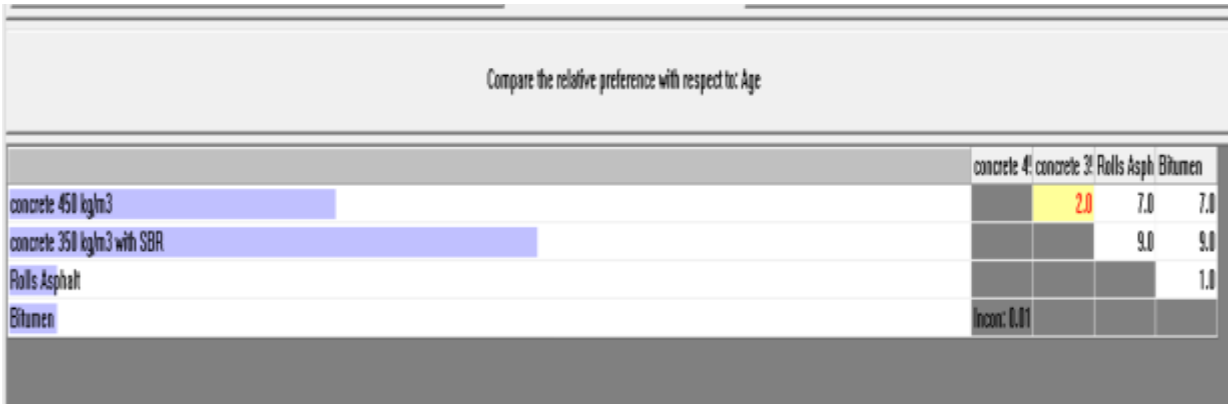
حالة دراسية أولى: خزان ماء

يبين الشكل (2) إدخال مصفوفة الأهمية للحالة الدراسية الموضحة في الجدول (9) ضمن برنامج الـ Expert Choice:



الشكل (2): يوضح مصفوفة الأهمية النسبية للمعايير بالنسبة للهدف ضمن برنامج Expert Choice

كما تم إدخال مصفوفات الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار الضغط البسيط ومقاومة الأوساط الحامضية والنفاذية وعمر العزل والكلفة والتي تم توضيحها في الجداول (4) و(5) و(6) و(7) و(8) أعلاه. يبين الشكل (3) مصفوفة الأهمية للبدائل بالنسبة لمعيار عمر العزل والموافق للجدول(7):



الشكل (3): يوضح مصفوفة الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لمعيار عمر العزل ضمن برنامج Expert Choice

عند تشغيل البرنامج تم الحصول على البديل الأفضل للحالة المدروسة والتي راعت الأهمية العظمى لمعياري النفاذية وعمر العزل فكانت الأفضلية واضحة للعزل بإضافة SBR للخلطة مقارنة بالبدائل الأخرى كالعزل بالرولات الزفتية أوالعزل المطاطي كما هو موضح بالشكل (4)، وهذا موافق لما يتم تنفيذه في الواقع العملي إذ لا بد من استخدام خلطات بإضافة مواد كالمواد البوليميرية والتي تحسن من العزل المائي للبيتون وتؤمن عمر عزل كافي.

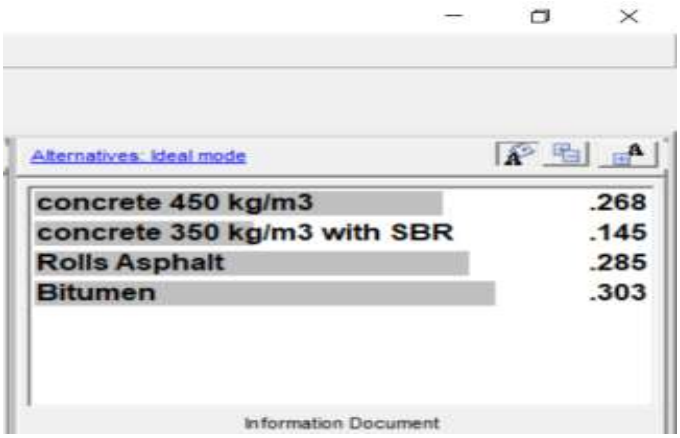
الشكل (4): يوضح البديل الأفضل للحالة الدراسية (خزان ماء)

حالة دراسية ثانية: سطح بناء سكني

يبين الشكل (5) إدخال مصفوفة الأهمية للحالة الدراسية الموضحة في الجدول (10) ضمن برنامج الـ Expert Choice:

الشكل (5): يوضح مصفوفة الأهمية النسبية للمعايير بالنسبة للهدف ضمن البرنامج

تم إدخال مصفوفات الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة للمعايير أيضاً كما تم إيضاحه في الحالة الدراسية السابقة ثم الحصول على البديل الأفضل للحالة الحالية المدروسة والتي راعت الأهمية العظمى لمعياري النفاذية والكلفة فكانت الأفضلية للعزل المطاطي كما هو موضح بالشكل (6)، ويعود ذلك إلى انخفاض كلفة العزل المطاطي مقارنة بالرولات الزفتية التي تحتاج إلى يد عاملة ماهرة ومراحل متعددة بالتنفيذ.



الشكل (6): البديل الأفضل لعزل سطح بناء سكني

الاستنتاجات والتوصيات:

1- العمل على استخدام معايير أخرى كالديمومة والخطر من تلف العزل وغيرها ودراسة مدى تأثيرها على اختيار البديل الأفضل.

2- ادخال بدائل أخرى كاستخدام طلاء السطح الخارجي بالـ SBR أو استخدام إضافات كريستالية للخلطة وغيرها بعد إجراء الاختبارات اللازمة عليها لبيان مدى تأثيرها على الخصائص المختلفة للبيتون وبالتالي تحديد الأهمية النسبية للبدائل بالنسبة لكل معيار.

3- العمل على دراسة منشآت بيتونية مختلفة وتحديد الأهميات النسبية للمعايير حسب كل حالة.

References:

.1 Aamodt, M. *High performance water-borne coatings for heavy duty corrosion protection*. in *CORROSION 2004*. 2004: OnePetro.

.2 Rao, S.M., *The effectiveness of silane and siloxane treatments on the superhydrophobicity and icephobicity of concrete surfaces* ،2013 .The University of Wisconsin-Milwaukee.

3. Musa, N.A., A study of the moisture absorption of polymeric insulating materials and the possibility of improving their insulation. 2017, Tishreen University.

.4 Pazderka, J. and E. Hájková, *Crystalline admixtures and their effect on selected properties of concrete.* Acta Polytechnica, 2016. **56**(4): p. 306-311.

.5 Ishizaka, A. and A. Labib, *Review of the main developments in the analytic hierarchy process.* Expert systems with applications, 2011. **38**(11): p. 14336-14345.

.6 Al-Murshid, A.I., A.I. Al-Desouki, and I.A. Al-Hammad, a model to assist in making a partnership decision between the public and private sectors in electricity projects. King Saud University, 2006. 33.
.7 Saaty, T.L., *What is the analytic hierarchy process?*, in *Mathematical models for decision support*. 1988, Springer. p. 109-121.
.8 Ghamdi, Y.A.D., Decision-making techniques. Institute of Civil Defense, 2008.
.9 Baharmoz, A.B.M., An application of the hierarchical analysis method of group decision to determine the best sites for establishing community colleges. Saudi Journal of Higher Education, 2004.
.10 Choice, E., *Expert choice.* Analytical Hierarchy Process (AHP) Software, Version, 2000.